

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
высшего образования - программы бакалавриата
по направлению подготовки
02.03.02 Фундаментальная информатика и
информационные технологии,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Фундаментальные основы квантовых технологий

Направление подготовки: 02.03.02 Фундаментальная информатика и
информационные технологии

Направленность (профиль): Квантовые вычислительные системы и сети

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 1178210
Подписал: заведующий кафедрой Быков Никита Валерьевич
Дата: 15.05.2025

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения дисциплины (модуля) «Фундаментальные основы квантовых технологий» являются:

- формирование основных физических представлений о технологических основах построения квантовых вычислительных систем и сетей;
- изучение физических основ способов построения квантовых компьютеров.

Задачами дисциплины (модуля) «Фундаментальные основы квантовых технологий» являются:

- изучение основных способов построения квантовых компьютеров;
- изучение основ теории твердого тела;
- изучение свойств низкоразмерных квантовых структур;
- изучение ядерного магнитного резонанса как основы квантовой архитектуры;
- изучение основных технологий осуществления квантовых вычислений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ОПК-1 - Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности;

ПК-1 - Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений;

ПК-2 - Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

- основные положения классической и квантовой теории твердого тела, включая теории сверхпроводимости;
- основные положения теории ядерного магнитного резонанса;
- основные способы построения квантовых вычислительных систем.

Уметь:

- определять основные свойства квантовых систем;
- анализировать зонную структуру твердых тел; определять свойства сверхпроводящих систем;
- рассчитывать основные магнитные и диэлектрические свойства твердых тел;
- определять основные характеристики квантовых низкоразмерных структур;
- использовать основы метода ядерного магнитного резонанса.

Владеть:

- методами классификации способов построения квантовых вычислительных систем;
- методами определения свойств твердых тел во внешних полях;
- методами анализа свойств квантовых технологических систем.

3. Объем дисциплины (модуля).**3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).**

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 4 з.е. (144 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Семестр №5
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	64	64
В том числе:		
Занятия лекционного типа	32	32
Занятия семинарского типа	32	32

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 80 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован

полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	Обзор основных принципов построения квантовых компьютеров Рассматриваемые вопросы: - история развития квантовых компьютеров; - основные требования к построению квантовых компьютеров и сетей; - принципы построения квантовых компьютеров и сетей.
2	Основы теории конденсированных сред Рассматриваемые вопросы: - кристаллы и кристаллическая решетка; - анизотропия кристаллов; - типы связи в кристаллах; - упругие волны в кристаллах; - акустические и оптические ветви колебаний; - фононы, зоны Бриллюэна.
3	Магнитные и диэлектрические свойства твердых тел Рассматриваемые вопросы: - классификация твердых тел по магнитным свойствам; - ферромагнетизм и обменное взаимодействие; - магнитные спектры веществ; - характеристики диэлектриков и виды поляризации; - свойства диэлектриков.
4	Зонная теория твердых тел Рассматриваемые вопросы: - одноэлектронное приближение, теорема Блоха; - энергетические зоны; - модель Кронинга-Пенни; - структура энергетических зон; - носители заряда, эффективная масса; - примеси и примесные материалы.
5	Квантование энергии электрона в магнитном поле Рассматриваемые вопросы: - квантование энергетического спектра свободных электронов в магнитном поле; - уровни Ландау; - спиновое расщепление уровней Ландау; - спектральная плотность состояний электронов в магнитном поле; - квантовые осцилляционные эффекты.
6	Сверхпроводимость Рассматриваемые вопросы: - сверхпроводящие материалы, эффект Мейснера;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- сверхпроводники 1 и 2 рода; - теория Бардина-Купера-Шриффера, куперовские пары; - эффекты Джозефсона; - высокотемпературная сверхпроводимость.
7	Сверхпроводимость второго рода Рассматриваемые вопросы: - уравнения Гинзбурга-Ландау; - квантование магнитного потока; - критические магнитные поля.
8	Квантовые низкоразмерные структуры Рассматриваемые вопросы: - энергетические уровни электрона в квантовой яме; - гетероструктуры; - оптические переходы между подзонами размерного квантования; - квантовые точки, понятие и классификация; - методы синтеза квантовых точек.
9	Приборы на квантовых точках Рассматриваемые вопросы: - лазеры на квантовых точках и квантовых ямах; - квантово-каскадный лазер; - электрооптический модулятор; - светодиоды на основе квантовых точек.
10	Ядерный магнитный резонанс Рассматриваемые вопросы: - магнитные свойства ядер; - основы метода ядерного магнитного резонанса (ЯМР); - классическая теория ЯМР.
11	ЯМР спектроскопия Рассматриваемые вопросы: - основы метода ЯМР спектроскопии; - ЯМР спектроскопия высокого разрешения; - импульсная ЯМР спектроскопия; - приборы ЯМР исследований.
12	Фотоника Рассматриваемые вопросы: - линейные оптические процессоры; - полупроводниковый квантовый транзистор; - топологический фотонный чип.
13	Квантовые электродинамические резонаторы Рассматриваемые вопросы: - теория квантовых электродинамических резонаторов и их реализация; - эксперименты с ридберговскими атомами; - наблюдение осцилляций Раби; - синтез трехчастичного запутанного состояния.
14	Ионы в радиочастотной ловушке Рассматриваемые вопросы: - ионные ловушки; - охлаждение ионов; - колебательное движение ионов в кристалле; - рамановская схема;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- фононный кубит; - измерение результатов; - декогерентизация состояний в квантовом компьютере на ионах.
15	Квантовый компьютер с архитектурой клеточных автоматов Рассматриваемые вопросы: - понятие клеточного автомата; - основные свойства клеточных автоматов; - периодическая структура двухуровневых элементов.
16	Твердотельные и полупроводниковые квантовые компьютеры Рассматриваемые вопросы: - жидкостные и ядерные магниторезонансные ЯМР компьютеры; - твердотельные ЯМР квантовые компьютеры; - полупроводниковые ЯМР квантовые компьютеры; - твердотельные компьютеры на квантовых точках; - квантовые компьютеры на сверхпроводящих элементах.

4.2. Занятия семинарского типа.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Принципы построения квантовых компьютеров В результате выполнения практического задания студент получает умение классификации основных методов построения квантовых компьютеров, умение анализа необходимых требований к квантовым компьютерам.
2	Конденсированные среды В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач по определению типов кристаллических решеток, анализа типов связей в кристаллах; построения акустических и оптических ветвей спектров фононов.
3	Магнитные и диэлектрические свойства твердых тел В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач определения магнитных и диэлектрических свойств твердых тел.
4	Зонная теория твердых тел В результате выполнения практического задания студент получает навык построения зонных структур твердых тел различного типа, анализа свойств полупроводников, в том числе нахождение концентрации носителей заряда.
5	Квантование энергии электрона в магнитном поле В результате выполнения практического задания студент получает навык определения уровней Ландау, решения задач по определению энергетических спектров электронов.
6	Сверхпроводимость В результате выполнения практического задания студент получает навык применения основных положений теории Бардина-Купера-Шриффера для анализа свойств сверхпроводников.
7	Сверхпроводимость второго рода В результате выполнения практического задания студент получает навык использования уравнения Гинзбурга-Ландау для анализа основных свойств сверхпроводников, а также определения критических параметров сверхпроводников.
8	Квантовые низкоразмерные структуры В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	определения энергетических уровней электрона в квантовых ямах, анализа переходов между подзонами размерного квантования.
9	Приборы на квантовых точках В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач для определения свойств приборов на квантовых точках.
10	Ядерный магнитный резонанс В результате выполнения практического задания студент получает умение использования основных положений теории ядерного магнитного резонанса для решения практических задач.
11	ЯМР спектроскопия В результате выполнения практического задания студент получает навык решения различных задач ЯМР спектроскопии.
12	Фотоника В результате выполнения практического задания студент получает навык определения основных свойств линейных оптических процессоров, полупроводниковых квантовых транзисторов и топологических фотонных чипов.
13	Квантовые электродинамические резонаторы В результате выполнения практического задания студент получает навык использования теории квантовых электродинамических резонаторов для оценки основных свойств квантовых компьютеров, создаваемых на их основе.
14	Ионы в радиочастотной ловушке В результате выполнения практического задания студент получает умение анализировать свойства ионных ловушек, рассчитывать колебательные движения ионов в кристалле.
15	Квантовый компьютер с архитектурой клеточных автоматов В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач по тематике клеточных автоматов, изучает основные свойства клеточных автоматов и методы построения квантовых компьютеров с архитектурой клеточных автоматов.
16	Твердотельные полупроводниковые квантовые компьютеры В результате выполнения практического задания студент получает умение анализировать основные методы построения квантовых компьютеров на ЯМР, их достоинства и недостатки.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Подготовка к практическим занятиям.
2	Работа с лекционным материалом.
3	Работа с литературой.
4	Подготовка к промежуточной аттестации.
5	Подготовка к текущему контролю.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
----------	----------------------------	---------------

1	Физика твердого тела: учебно-метод. пособие к лаб. работам 71, 89 для студ. ИУИТ, ИПСС, ИТТСУ и Вечернего факультета / С. В. Мухин, С. М. Кокин ; под ред. В. А. Никитенко; МИИТ. Каф. Физика. - М.: РУТ(МИИТ), 2017. - 36 с.	https://library.mii.ru/bookscatalog/metod/DC-260.pdf
2	Савельев, И. В. Курс физики. В 3 томах. Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев. — 9-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 308 с. — ISBN 978-5-507-47404-2.	https://e.lanbook.com/book/367055
3	Прудников, В. В. Квантово-статистическая теория твердых тел : учебное пособие для вузов / В. В. Прудников, П. В. Прудников, М. В. Мамонова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-507-44520-2.	https://e.lanbook.com/book/233297
4	Квантовые точки: синтез, свойства и методы их характеристики : учебное пособие / П. П. Гладышев, С. А. Новикова, Е. В. Андреев [и др.]. — Дубна : Государственный университет «Дубна», 2021. — 52 с. — ISBN 978-5-89847-624-3.	https://e.lanbook.com/book/196960
5	Основы квантовой информации: учеб. пособие для студ. спец. Системы обеспечения движения поездов / Л. М. Журавлева, О. Е. Журавлев; МИИТ. Каф. Автоматика, телемеханика и связь на ж.-д. транспорте. - М.: РУТ (МИИТ), 2018. - 60 с. - Б. ц.	https://library.mii.ru/bookscatalog/metod/DC-811.pdf
6	Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / В. К. Прилипко, И. И. Коваленко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 216 с. — ISBN 978-5-507-50139-7.	https://e.lanbook.com/book/412214
7	Моргунов, Р. Б. Физические основы квантовых вычислений : учебное пособие / Р. Б. Моргунов, О. В. Коплак, О. С. Дмитриев. — Тамбов : ТГТУ, 2017. — 98 с. — ISBN 978-5-8265-1690-4.	https://e.lanbook.com/book/319688

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.mii.ru>).

Электронно-библиотечная система ЛАНЬ (<https://e.lanbook.com/>).

Образовательная платформа Юрайт (<https://urait.ru/>).

Информационный портал Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru);

Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов (<http://window.edu.ru>).

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Интернет-браузер (Yandex и др.)

Microsoft Windows.

Microsoft Office

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Учебная аудитория для проведения учебных занятий (занятий лекционного типа, практических занятий):

- компьютер преподавателя, рабочие станции студентов, мультимедийное оборудование, доска.

Аудитория подключена к сети «Интернет».

9. Форма промежуточной аттестации:

Экзамен в 5 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

заведующий кафедрой, доцент, д.н.
кафедры «Физика»

Н.В. Быков

Согласовано:

Заведующий кафедрой ВССиИБ

Б.В. Желенков

Заведующий кафедрой Физика

Н.В. Быков

Председатель учебно-методической
комиссии

Н.А. Андриянова